استفاده از حفاظت کاتدی به روش تزریق جریان(*ICCP*) برای کنترل خوردگی در ساختمان های اسکلت فولادی با روکش آجری

توماج چمنی[1]،فروغ طرفی[2]،شهاب طرفی[3]، ناصر الهی[4]،جمشید سلحشور[5]

۱،۲-دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران مدیریت ساخت و پروژه واحد شوشتر

3-دانشجوی کارشناس مهندسی عمران-عمران دانشگاه دولتی ایلام

4- دکتری مدیریت ایمنی صنعتی و استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

شوشتر5-دکتری هیدرولیک و استاد دانشگاه آزاد

ToumajChamani@ yahoo.com

Forough.Torfi@yahoo.com

Torfeeshahab@yahoo.com

چکیده

مسائل مربوط به خوردگی در سازه های اسکلت فولادی با پوشش بنایی اواخر قرن نوزدهم و اوائل قرن بیستم، در دو دهه اخیر به طور فزاینده ای آشکار شده است. آسیب حاصل از خوردگی نه تنها یکپارچگی این ساختمان ها را از بین می برد بلکه همچنین می تواند سبب یک خطر عمومی جدی و مشکلی برای اطمینان خاطر مالک شود. از هنگام اجرای نخستین نصب در اسکلت فولادی در سال 1991 در ایرلند، سیستم های CP مورد استفاده فزاینده ای در بریتانیا و آمریکای شمالی قرار گرفته اند. حفاظت کاتدی با تزریق جریان به عنوان یک روش موثر حفاظت در برابر خوردگی در پل ها، خط لوله ها و سایر سازه های فلزی مطرح شده است و اکنون به عنوان یک گزینه استراتژیک برای مهندسان، معماران و مالکان در حال توسعه می باشد.

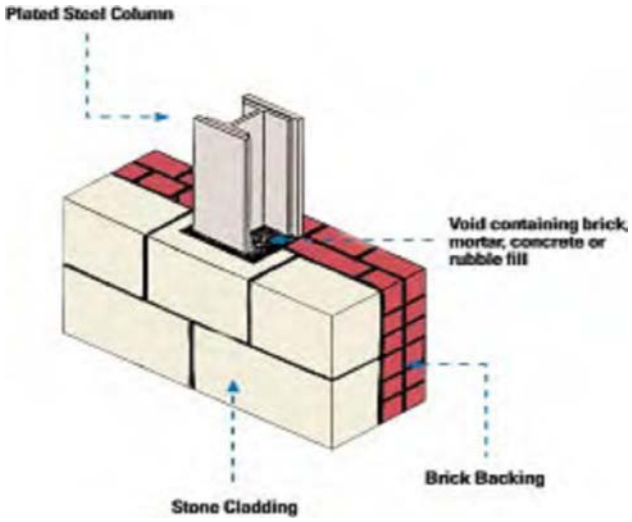
حفاظت کاتدی (CP) می تواند مزایای بسیاری نسبت به روش های معمول تعمیرات داشته باشد از جمله: صرفه جویی در هزینه ها از طریق افزایش طول عمر، کنترل خوردگی درازمدت، حداقل اختلال در مصالح ساختمان و مزایای معماری/حفاظتی. یونهای هیدروکسی با حفاظت کاتدی در سطح فولاد تولید می شوند، که به ملات تزریقی امکان بازگشت به حالت قلیایی را می دهند. این پروسه امکان تشکیل مجدد غشای اکسید حفاظتی روی سطح فولاد را می دهد. در صورتی که سیستم به درستی نصب شده و تعمیر نگهداری مناسبی برای آن انجام شود، سیستم به مدت طول عمر سازه از آن در برابر خوردگی حفاظت خواهد کرد. درک این نکته اهمیت دارد که سیستم های CP نمی توانند آسیب وارد شده به علت خوردگی را معکوس سازند، ولی می توانند به طور موثری خوردگی آتی را تا سطحی عقب بیاندازند که مشکلات مربوط به صدمات حاصل از خوردگی به حداقل برسد.در این مقاله به حفاظت کاتدی به روش تزریق جریان(ICCP) برای کنترل خوردگی در ساختمان های اسکلت فولادی با روکش آجری می پردازیم.

کلمات کلیدی: حفاظت کاتدی (CP)، تزریق جریان، غشای اکسید حفاظتی، اسکلت فولادی با روکش آجری

1.مقدمه

در دوره اواخر قرن نوزدهم و اوائل قرن بیستم ساخت سازه های فولادی روندی شتابان گرفت. دیوار ضخیم، ساختمان های بنایی باربر، که برای هزاران سال با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته بود، جای خود را به سازه های بلندتر فولادی با روکش بنایی داد. ساختمان های ساخته شده در این دوره "گذرا" در نظر گرفته می شوند و یک دوره تغییر بین بنایی سازه ای و طراحی های دیوار پرده ای مدرن امروز را در بر می گیرند. این نوع از ساختمان سازی در ساحل شرقی ایالات متحده و بسیاری از شهرهای صنعتی Midwest بسیار رایج بود.

در ساخت و سازهای فولادی اولیه، روکش نسبتا ضخیم خارجی شکافته می شد تا با فولاد سازه ای و جاهای پرشده با یک ملات سیمانی درجه پایین، که اغلب با آجر و قلوه سنگ پر شده بود، همخوانی یابد (به شکل 1 رجوع فرمایید). این نوع ساخت و ساز امکان تجمع رطوبت بین آجرچینی و ملات، که با سطح فولادی در تماس است، را می داد. معماران و مهندسان در ابتدا فکر می کردند که ملات مورد استفاده قرار گرفته در ساخت سیستم های دیوار به خاطر قلیایی بودن ذاتی سیمان درجه ای از حفاظت در برابر خوردگی را برای اعضای فولادی فراهم می آورد. در محیط قلیایی سطوح فولادی به خاطر تشکیل یک غشای اکسید حفاظتی، که درجه ای از حفاظت را فراهم می آورد، غیرفعال باقی می مانند. با این حال، به خاطر طبیعت متخلخل ملات و مواد پرکننده ناهمگن در اطراف اعضای فولادی، غشای اکسیدی حفاظتی به مرور زمان از بین می رود، که سبب خوردگی در اسکلت فولادی و سایر فلزات به کار رفته می شود.



شکل 1. سازه فولادی با روکش بنایی

مشکل خوردگی

رایج ترین مکانیسم بروز اشکال در سیستم های پوششی بنایی سنتی خوردگی فلزاتی است که این سیستم را پشتیبانی می کنند. این خوردگی شامل مهارهای جانبی بخش کوچک، زوایای تاقچه ای فولادی و اسکلت فولادی ساختمان که در آن پوشش معلق است می شود. سطوح نسبتا پایین خوردگی می تواند به خاطر توسعه حجمی فولاد خورده شده منجر به افت قابل توجهی در نمای بیرونی سنگی یا آجری شود. گسترش این محصولات خوردگی می تواند 7 تا 12

برابر حجم اصلی فولاد مصرفی باشد. خوردگی می تواند به فشارهای قابل توجهی بر ملات، سنگ و مصالح اطراف آن منجر گردد که سبب ترک خوردگی، ورقه ورقه شدگی و جداشدگی بلوک های سنگی بزرگ می شود. آسیب دیدگی حاصل از خوردگی ممکن است یکپارچگی این ساختمان ها را از بین نبرد، ولی می تواند یک خطر عمومی جدی و مشکلی از بابت اطمینان برای مالک ایجاد نماید.

پروسه خوردگی که در سازه های فولادی دارای پوشش بنایی رخ می دهد ذاتا الکتروشیمیایی است، بسیار شبیه به باتری. خوردگی منجر به جریان یافتن الکترون ها بین مکان های آندی و کاتدی روی سطح فولادی می شود. بیشتر فلزات از نظر ترمودینامیکی ناپایدار هستند و به حالت اصلی انرژی خود باز خواهند گشت، یا در مورد فولاد به شرایط پایدار سنگ آهن. برای وقوع خوردگی چهار عنصر اولیه مورد نیاز می باشد.

- آند –جایی که خوردگی رخ می دهد و جریان الکتریکی از آن جریان می یابد.
- کاتد –جایی که هیچ خوردگی رخ نمی دهد و جریان الکتریکی به آن وارد می شود.
- الکترولیت –یک واسطه که قادر است جریان الکتریکی را با جریان یونی هدایت کند (خاک، آب و ملات).
- مسیر فلزی –ارتباط بین آند و کاتد، که به جریان امکان بازگشت و تکمیل مدار را می دهد.

برای وقوع واکنش های خوردگی به وجود اکسیژن و رطوبت نیاز است. در صورت غیبت یکی از این ها، خوردگی رخ نخواهد داد. متاسفانه، اکسیژن همیشه موجود است و برای وقوع خوردگی نیاز به سطوح پایینی از رطوبت می باشد. عموما مشخص شده است که محتوای رطوبت 2% وزن مصالح یا ملاتی که با فولاد در تماس است خوردگی قابل توجهی را باعث خواهد شد.[2] از این رو نرخ خوردگی تابعی است از وجود اکسیژن و رطوبت، نوع محیط، و تغییرپذیری محیط.

دو نوع خوردگی عمده وجود دارد که می توانند بر سازه های فولادی دارای پوشش بنایی تاثیر بگذارند:

خوردگی یکنواخت : هجوم یکنواخت به عنوان یک لایه متعادل از زنگ روی سطح فولادی به وقوع می پیوندد. این رایج ترین شکل خوردگی است که در فولاد پیرامونی پوشش بنایی سازه های فولادی یافته می شود. خوردگی یکنواخت عموما به خاطر واکنش های الکتروشیمیایی است که به دلیل وجود اکسیژن و رطوبت رخ می دهد. تحت شرایط خاصی آب و رطوبتی که با فولاد در تماس است، ممکن است به خاطر آلاینده های اسیدی حاصل از بارش باران (باران اسیدی) pH بسیار پایینی داشته باشند. نتایج تحقیقات انجام شده روی pH باران های اسیدی نشان داده است که pH 2 برای اسید نامعمول نیست، به ویژه در اولین دوره بارش برف یا باران.[3] کربوناسیون، به عنوان دیگر عامل دخیل در خوردگی، فرایندی است که طبق آن دی اکسید کربن وارد مصالح بنایی می شود و با فولاد واکنش نشان می دهد. دی اکسید کربن با آب منفذی موجود در ملات ترکیب می شود تا اسید کربنیک را تشکیل دهد، که pH ملات را به حدود 8 یا 9 کاهش می دهد. در این سطوح لایه حفاظتی اکسیدی دیگر پایدار نیست و با مقادیر کافی از اکسیژن و رطوبت آغاز خواهد شد. نفوذ به مصالح از طریق کربوناسیون فرایندی کند است، و نرخ آن به تخلخل و نفوذپذیری ملات بستگی دارد.

خوردگی حفره ای : این نوع خوردگی تقریباهمیشه به وسیله یون های کلر و کلرید ایجاد می شود و به ویژه برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است ؛ چون در این خوردگی ، سازه با چند درصد کاهش وزن نسبت به وزن واقعی اش ، به راحتی دچار شکست می شود . معمولا عمق این حفرات برابر یا بیشتر از قطر آنهاست و با رشد حفرات ، ماده سوراخ می شود.

مشکلات خوردگی مرتبط با سازه های اسکلت فولادی دارای روکش بنایی به طور فزاینده ای در جریان دو دهه اخیر مشخص شده اند. نرخ خوردی در ابتدا توسط مقاومت سنگ و ملات در تماس با فولاد کنترل می شود. با این حال، این وضعیت با تداوم فرایند خوردگی ادامه می یابد و یک لایه محصولات خوردگی روی سطح فولاد توسعه می یابد. از آنجا که اکسید آهن یا زنگ، با محتوای رطوبت معین، دارای مقاومت به مراتب کمتری نسبت به مصالح اطرافش است، انتظار می رود نرخ خوردگی با شکل گیری زنگ روی سطح فولاد تسریع گردد. این فرایند با تداوم نفوذ رطوبت در پوشش متخلخل و محل های قطع ملات و از طریق پوشش و سیستم های آسیب دیده یا تنزل یافته تشدید می شود.

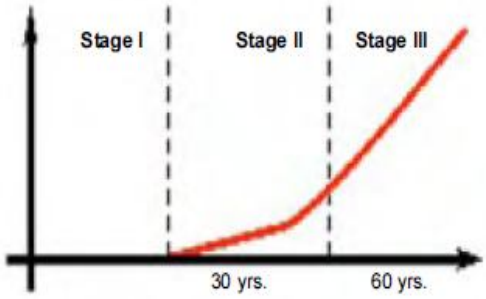
پیشرفت خوردگی تا جایی که به مصالح بیرونی محدود شود کند خواهد بود و عموما بر حسب چند دهه سنجیده می شود. برای سازه های اسکلت فولادی دارای پوشش بنایی این پیشرفت با مدلی 3 مرحله ای مشخص شده است [5]. به شکل 2 مراجعه فرمایید.

پیشرفت خوردگی

مرحله 1 از دست رفتن حفاظت از اسکلت فولادی

مرحله 2 آغاز خوردگی

مرحله 3 خوردگی وسیع که سبب ترک خوردگی و جداشدگی مصالح و تخریب احتمالی فولاد سازه می شود.



نمایش شماتیک خوردگی اسکلت فولادی

شکل 2. مدل 3مرحله ای خوردگی اسکلت فولادی

مرحله I به عنوان فاز اول تعیین شده است که در آن غشای اکسید حفاظتی روی سطح فولادی در نتیجه نفوذ رطوبت و کربوناسیون احتمالی از بین می رود. مرحله II را می توان یک فاز فعال در نظر گرفت که در آن پروسه خوردگی آغاز می شود و لایه های زنگ روی سطح فولادی توسعه می یابند. فاز بعدی، یا مرحله III فازی است که خوردگی وسیع رخ می دهد و منجر به توسعه حجمی قابل توجه محصولات خوردگی، ترک خوردگی و جابجایی مصالح، و وارد

شدن خسارت احتمالی به بخش فولادی می شود. بسیاری از سازه های اسکلت فولادی بنایی اولیه در حال حاضر در این مرحله آخر (اسکلت زمانی پس از 60 سال) قرار دارند. البته، طول زمان وقوع خوردگی وسیع و تخریب متعاقب آن می تواند از یک مکان به بعدی و در هر سازه ای رخ دهد.

حفاظت کاتدی

روش های سنتی تعمیر برای سازه های اسکلت فولادی، که شامل برداشتن مصالح، پوشش دادن فولاد با یک روکش حفاظتی یا رنگ آمیزی، قراردادن پوشش ملات جدید و نصب مصالح جدید است می تواند هم پرهزینه و هم غیرعملی باشد. حفاظت کاتدی (CP)، که یک روش کنترل خوردگی است که برای ده ها سال در خطوط لوله مدفون مورد استفاده قرار گرفته است، اکنون به عنوان یک گزینه استراتژیک برای تعمیرات سازه های فولادی دارای پوشش بنایی توسعه می یابد. در سال 1991 اولین سیستم CP برای اسکلت فولادی پوشش سنگی توسط Taywoods Engineering در تالار ورودی کالج علوم 1910 دوبلین، که اکنون اقامتگاه نخست وزیر ایرلند است، نصب شد [6].

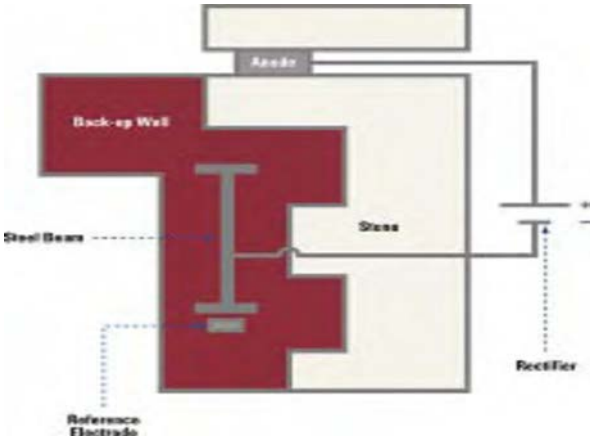
در سال 1995، "میراث فرهنگی انگلیس" حفاظت کاتدی را برای حصارهای آهنی دچار خوردگی شده دروازه Inigo Jones، که در محوطه پارک اطراف کاخ Chiswick در لندن انگلیس قرار دارد، به کار گرفت.7 اکنون همین تکنولوژی در سازه های فولادی در بریتانیا و آمریکای شمالی به کار گرفته شده است. راه های بسیاری برای کند کردن فرایند خوردگی وجود دارد، با این حال حفاظت کاتدی تنها روشی است که فارغ از محتوای رطوبت، اکسیژن و کلرید در ملات و بتن برای توقف خوردگی کارایی خود را به اثبات رسانده است. سیستم های CP نمی توانند آسیب وارده شده از طریق خوردگی را برطرف نموده و معکوس کنند، ولی به شکلی موثر می توانند تا جایی جلوی خوردگی بیشتر را بگیرند که مشکلات مرتبط با خوردگی آسیب دیدگی های حاصل از خوردگی به حداقل برسد.

انواع سیستم های حفاظت کاتدی

دو نوع سیستم حفاظت کاتدی وجود دارند: سیستم های گالوانیک ، و سیستم های حفاظت کاتدی با تزریق جریان (ICCP).

سیستم های گالوانیک بر مبنای اصل خوردگی فلزی نامشابه و موقعیت نسبی فلزات متفاوت در سری گالوانیک پتانسیل عمل می کنند. روی و آلیاژهای مختلف آلومینیوم نمونه هایی از آندهای گالوانیک هستند. وقتی روی یا آلومینیوم مستقیما به فولاد متصل شوند، خود را فدا (قربانی) می کنند و به سود فولاد به آرامی دچار خوردگی می شوند.

از سویی دیگر، سیستم های ICCP به وسیله یک منبع تغذیه خارجی یا یکسوکننده، کاربرد یک جریان مستقیم ولتاژ پایین از یک ماده آندی ساکن را در بر می گیرند. توری های روبان تیتانیوم کاتالیزشده و میله های تیتانیوم اکسید فلزی مخلوط (MMO)وآند های سیلیکون نمونه هایی از آندهای ICCP ساکن هستند. به خاطر نیاز به طول عمر بالای آند، سیستم ولتاژ، و توزیع جریان در سطح فولاد سازه ای، ICCP سیستم ترجیحی برای حفاظت کاتدی ساختمان های فولادی دارای پوشش بنایی می باشد. طرحی از یک سیستم ICCP که از مش روبان آند تیتانیوم کاتالیزشده در یک محل قطع ملات استفاده می کند به شکل 3 مراجعه فرمایید.



شکل 3. طرح سیستم حفاظت کاتدی تزریق جریان.

یک سیستم ICCP برای ساختمان های اسکلت فولادی می تواند شامل اجزاء اولیه زیر باشد:

منبع تغذیه DC (سیستم یکسوساز توزیع شده)

مواد آند ساکن، همچون مش روبان تیتانیوم کاتالیزشده یا میله های تیتانیوم.

پیوستگی مداوم الکتریکی اجزاء فولادی.

سیم کشی DC بین آند، فولاد و یکسوساز.

سیستم نظارت و کنترل از راه دور.

تداوم الکتریکی

کسب اطمینان از تداوم الکتریکی اسکلت فولادی، زوایا، مهارها، تقویت کننده و سایر آیتم های فلزی یک عنصر اساسی در کاربرد حفاظت کاتدی است. عدم تضمین تداوم الکتریکی علاوه بر ممانعت از رسیدن جریان به فولاد که ناپیوسته است می تواند به تداخل خوردگی آیتم های ناپیوسته منجر شود.

یک درک جامع از جزئیات طراحی مشترک و روش های تاریخی ساخت سازه در ارزیابی تداوم اهمیت اساسی دارد. یک تحلیل اولیه از تداوم بین آیتم های گنجانده شده می تواند در جریان نصب آزمایشی انجام پذیرد. روش های تست استاندارد شامل مقاومت DC و تکنیک های افت میلی ولتی DC می باشند. مقدار مقاومت کمتر از 1 اهم (پس از معکوس کردن پلاریته پروب های تست) یا اختلاف پتانسیل کمتر از 1 میلی ولت مقادیری هستند که تداوم الکتریکی بین اجزاء فلزی گنجانده شده در بتن یا ملات را نشان می دهند.تغییرات در پتانسیل آیتم فولادی در طی بکارگیری جریان حفاظت کاتدی، که با استفاده از یک الکترود مرجع قابل حمل یا تعبیه شده سنجیده می شود، راه دیگر ارزیابی تداوم الکتریکی است.مهندس حفاظت کاتدی باید با روش های تعمیری که مطرح شده اند و و جایی که بست ها و مهارهای فولاد ضدزنگ در تعمیر و پایدارسازی سنگ و سایر مواد نمای بیرونی مورد استفاده قرار می گیرند نیز آشنا باشد. اگر آیتم های فلزی ناپیوسته مطرح شوند، باید در تعامل آنها با سیستم CP دقت شود. روش های پیونددهی می توانند شامل جوشکاری ساده، اتصالات مکانیکی یا پیوند سیم های مسی کوچک عایق بندی شده با استفاده از اپوکسی رسانا باشند.

الکترولیت

حفاظت کاتدی ساختمان های اسکلت فولادی دارای پوشش بنایی عملی می باشد زیرا جریان مستقیم می تواند از ملات پرشده، که با اسکلت فولادی در تماس است، عبور کند. از این رو ملات و مصالح سازه به عنوان الکترولیت برای عبور جریان حفاظتی در نظر گرفته می شوند. اگرچه اغلب جزئیات مربوط به فولاد و چیدمان مصالح در دسترس است، ولی اطلاع از اتصال ملات همیشه امکان پذیر نیست. به ندرت می توان گفت که آیتم های فلزی تعبیه شده در این سیستم های پوشش دهی کاملا در ملات قرار داده شده اند. در بیشتر موارد، ملات دارای خلاء های بزرگی است و در برخی موارد نیز ملات اصلا وجود ندارد. اطلاع از پیوستگی مواد داخلی از طریق تحلیل با بوروسکوپ قابل تامین است. کیفیت، نوع و کاربرد ملات بین فولاد و نمای بیرونی تا حد زیادی از بین ساختمان ها و در یک ساختمان واحد متغیر است. با این حال، با وجود این تغییرات، مواد ملات عموما شامل یک ترکیب مرطوب حاوی مقادیر متغیری از سیمان، ماسه و آجر پاره می باشد. اطلاع از روش های ساخت سازه های قدیمی در هنگام تحلیل نواحی پرشده با توجه به قسمت های خالی اهمیتی اساسی دارد. در حالتی که خوردگی در حداقل خود باشد حفره های ممکن است بزرگ باشند (بزرگتر از 25 میلیمتر) و نیازی به حفاظت نخواهد بود، یا در برخی موقعیت های مشخص خوردگی ممکن است در حفره قابل توجه باشد و برای تضمین حفاظت بندکشی لازم می شود. حفره ها ممکن است سورخ های کوچکی نیز باشند (کمتر از 10 میلیمتر) که در آن ها خوردگی رخ می دهد ولی نیازی به بندکشی نخواهد بود، زیرا محصولات خوردگی تمایل دارند حفره های کوچک را پر کنند و برای جریان حفاظتی نقش کاتالیزور را بازی می کنند. اگر ناحیه خالی حاوی آب باشد، جریان حفاظتی کاتدی از این ناحیه هدایت خواهد شد.

انتخاب آند

آند یکی از مهم ترین اجزاء یک سیستم حفاظت کاتدی است. از آن برای توزیع جریان حفاظتی در فولاد تعبیه شده در مصالح استفاده می شود و مکان هایی برای واکنش های آندی به جای فولاد فراهم می آورند. با استفاده از مواد آندی نسبتاً ضدخوردگی، همچون تیتانیوم کاتالیزشده، مصرف آند به حداقل می رسد. یکی از مزایای اصلی تیتانیوم کاتالیزشده این است که طول عمر موردانتظار آن از طریق تست عمر تسریع شده قابل تعیین است. استاندارد N.A.CE TM۰۲۹٤-۹٤، "تست آندهای قابل تعبیه برای استفاده در حفاظت کاتدی بتن تقویت شده فولادی در معرض عوامل اتمسفری" روندهایی برای تست عمر تسریع شده این آندها در اختیار قرار می دهد. بر مبنای نتایج تست مورد استفاده در این روش، مشخص شده است که طول عمر آندهای تیتانیوم کاتالیزشده به راحتی می تواند از 75 سال بگذرد.

منبع تغذیه و مانیتورینگ

یک یکسوساز برای تبدیل جریان متناوب (AC) به جریان مستقیم (DC) مورد استفاده قرار می گیرد. یک یکسوساز بر اساس اصولی همسان با یک آداپتور AC برای یک کامپیوتر یا یک شارژر باتری کار می کند. در یک سیستم ICCP، یکسوساز توان لازم (یعنی جریان مستقیم فشار ضعیف) را تامین می کند و مقدار توان ارسالی به هر یک ازمنطقه های آند را کنترل می نماید. طبق روال معمول برای سازه های فولادی پوشش بنایی، سیستم کاتدی به مجموعه ای ازمنطقه های آندی مجزا تقسیم می شود. به عنوان مثال یک خط ستون یا تیرچه در جلوی یک ساختمان می تواند یک منطقه واحد باشد. یکسوسازها در انواع و خروجی های عملیاتی مختلفی در دسترس می باشند (یعنی، جریان ثابت، ولتاژ ثابت، و کنترل پتانسیل). به طور کلی، سیستم های ICCP برای سازه های اسکلت فولادی بنایی باید بر مبنای یک جریان ثابت عمل نمایند، تا ولتاژ بتواند برای تغییرات در مقاومت مواد بنایی و ملات تغییر یابد. فرایند حفاظت کاتدی برای سازه های فولادی با پوشش بنایی به طور شگفت انگیزی توان اندکی مصرف می کند. در عمل مشخص شده است که حداکثر محدوده ولتاژ برای یکسوسازها در سازه های فولادی با پوشش بنایی 20 تا 30 ولت DC است.

سیستم های یکسوساز توزیع شده، که شامل یک واحد کنترل اصلی و واحدهای یکسوساز محلی (LRUها) هستند برای تاسیسات ساختمانی بزرگ تر مناسب ترند. این تکنولوژی نه تنها سیم کشی DC را به حداقل می رساند، بلکه همچنین امکان نظارت از راه دور کامل و کنترل سیستم از طریق یک خط تلفن، مودم یا کامپیوتر شخصی را می دهد. به منظور کسب اطمینان از تداوم عملیات سیستم، یکسوساز معمولا هر سه ماه یکبار مورد بازبینی قرار می گیرد.

نتیجه گیری

حفاظت کاتدی با تبدیل کردن فلز به یک کاتد از طریق به کارگیری یک جریان مستقیم ولتاژ پایین می تواند به عنوان عاملی برای کاهش یا حذف خوردگی تعریف شود. حفاظت کاتدی با استفاده از مزیت وجود ملات و مصالح در تماس با فولاد، که به عنوان یک الکترولیت برای عبور جریان عمل می کند، برای ساختمان های اسکلت فولادی دارای پوشش بنایی مناسب می باشد. CP می تواند مزایای بسیاری نسبت به روش های سنتی تعمیر از جمله: صرفه جویی در هزینه ها به خاطر افزایش دوره عمر سازه، حداقل اختلال در مصالح موجود، کنترل خوردگی درازمدت، و مزایای معماری،حفاظتی داشته باشد.

مراجع

1.آهنگری ،ب. ،(1386) ،" خوردگی در خطوط لوله فولادی انتقال و شبکه های توزیع نفت و گاز"شرکت ناقوس اندیشه ، 582-143

2. P.Gibbs,z.Chaudhary,The Cathodic Protection of Early Steel Framed Buildings,Taywood Engineering Ltd.Technical Paper

٣. R.Baboian,Environmental Conditions Affecting Transportation Infrastructure,Materials Performance,September,١٩٩٥

٤. S.Daily,Understanding Corrosion and Cahodic Protection of Reinforced Concrete Structures, Corrpro C ompanies,Inc.,Technical Paper Library,CP-٤٨.

٥. P.Gibbs,Corrosion of Masonry Clad Steel Framed Buildings,Historic Scotland,Technical Conservation Research and Education Division ,Technical Advice Note ٢٠,June,٢٠٠٠.

٦. The Restoration of Historic Structures,Taywood Engineering ,Reprint from Urban Renewal

٧. k.Blackney ,b.Martin,The Application of Cathodic Protection to Historic Buildings,English Heritage,Architectural Conservation Team.

٨. l.Bertolini,F.Bolzoni,P.Pedeferri,Cathodic Protection of reinforcement in Carbonated Concrete,Paper ٦٣٩,National Association of Corrosion Engineers,Corro sion٩٨.

٩. Atkins, CP,"Cathodic Protection Of Steel Framed Heritage Structures

١٠. Broomfield , J," Cathodic Protection of Early ٢٠th Century Steel Framed Buildings